

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA CAROLINA FEBER TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DO POLO SUL, A PARTIR DE DADOS DA
ESTAÇÃO *SOUTH POLE OBSERVATORY* (SPO).**

PONTAL DO PARANÁ

2016

ANA CAROLINA FEBER TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DO POLO SUL, A PARTIR DE DADOS DA
ESTAÇÃO *SOUTH POLE OBSERVATORY* (SPO).**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia com habilitação em Pesquisa Oceanográfica, ao curso de graduação em Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sandin Dourado

PONTAL DO PARANÁ


2016

TERMO DE APROVAÇÃO


Ana Carolina Feber Teixeira

“Caracterização climática do Polo Sul, a partir de dados da estação South Pole Observatory (SPO).”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:


Prof.^ª. Dr.^ª. Morgana Vaz da Silva - CEM/UFPR


Prof. Dr. Dirceu Luis Severo - FURB


Prof. Dr. Marcelo Sandin Dourado
Presidente

Pontal do Paraná, 18 de novembro de 2016

*Dedico este trabalho a minha mãe Ana Maria Modesto Pereira e a minha avó
Teresinha Chaves Pereira por estarem sempre ao meu lado.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me ter fornecido essa oportunidade de crescimento, sabedoria e aprendizado que eu ganhei nesses últimos cinco anos, por toda saúde e desenvolvimento.

À minha mãe, Ana Maria Modesto Pereira que mesmo nos momentos difíceis nunca deixou me faltar nada, nas fases boas e ruins estava ao meu lado, me dando força e me amparando. E que sempre me incentivou, não importando o caminho. Ensinando-me que o conhecimento e a sabedoria ninguém nos tira. Me falta palavras por todo o incentivo, amor, carinho e amizade que temos uma com a outra.

Agradeço à minha avó, Teresinha Chaves Pereira que nesses cinco anos se doou em não me ter por perto, que foi mais que uma avó e sim uma mãe que sempre me cuidou e me educou. Por ser um exemplo na minha vida, por toda sua bravura, força e garra.

Ao meu pai, que mesmo longe sempre me deu todo o incentivo e apoio para a realização dos meus sonhos, me ensinando que o céu é o limite, que podemos ser e fazer o que quisermos.

Ao meu orientador Marcelo Sandin Dourado, por todos os ensinamentos adquiridos, pelo respeito, pela oportunidade de realizar essa monografia e pelos aprendizados tanto profissionais como pessoais. E claro, pelo Karranka das quartas-feiras e ao nosso ilustre amigo cantor.

Aos professores e servidores que fizeram parte da minha graduação, por todo o conhecimento passado.

À minha família por compreender minha ausência e se adaptar a todo e qualquer tipo de mudança, e por toda união que sempre tivemos. Principalmente a minha afilhada, Lavínia e ao meu irmão Felipe pelo incentivo.

Ao Vinícius Carvalho de Oliveira pelo companheirismo, amor, aventuras e principalmente pelo o apoio e compreensão, por tudo que realizamos até hoje, por me mostrar um novo mundo e me fazer sair da zona de conforto sempre.

À minha companheira de casa, amiga e irmã Julia R. Bilibiu, por me aturar esses anos todos, por compartilhar todos os momentos comigo, comilanças, filmes, cinemas, passeios na praia e nossas longas e demoradas conversas sobre a vida.

Agradeço a todos que passaram e moraram na Vila, Ana Emília, Bruna Canal, Caio, Julianna, Julia B., Julia C. e a Marininha, por transformar minha casa em um lar, pelas lasanhas, fricassês, brigadeiros, canastras, unhas feitas, filmes e principalmente pela companhia.

Ao GRR2012 ou os “lindos do CEM” pelos churrascos, pelas parcerias, pelas saídas de campo e por toda a união, principalmente nos momentos mais difíceis.

Aos amigos de São José dos Campos, por compreenderem minha ausência, por estarem ao meu lado nos momentos de loucuras, pelas companhias e por todo o incentivo.

Aos colegas, amigos e aos nossos agregados de laboratório, por todos os cafés divididos, por todos os risos e olhares comunicativos, sem vocês minhas manhãs e tardes seriam vazias.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste estudo.

Você é sempre um vencedor.
Às vezes você vence outras vezes você
faz os outros vencerem.

Sri Sri Ravi Shankar

RESUMO

A Antártica é uma das regiões mais sensíveis às variações climáticas na escala global e os processos atmosféricos, biológicos, criosféricos, geológicos e oceânicos que ocorrem naquela região afetam diretamente o Brasil. A região, devido à presença de 90% do volume da massa de gelo do planeta, é o principal sorvedouro de energia da Terra, tendo papel essencial na circulação atmosférica e oceânica e, consequentemente, no sistema Climático Terrestre. O objetivo do presente trabalho é investigar a climatologia do Polo Sul, o seu comportamento médio e a variabilidade sazonal utilizando trinta e sete anos de dados horários da temperatura do ar, velocidade direção do vento, umidade relativa do ar e pressão atmosférica obtidos do South Pole Observatory (SPO) entre 1977 e 2014. As médias climatológicas são calculadas a partir da média mensal dos dados horários. A frequência foi calculada para cada intervalo de classe utilizando a regra de Sturges. Para determinar a direção da velocidade do vento médio foi utilizada a metodologia de Mitsuta, onde a velocidade de vento é decomposta em suas componentes zonal e meridional e a direção média é calculada a partir das médias das componentes. O menor e o maior valor de temperatura do ar observado no período de estudo foram $-82,5^{\circ}\text{C}$ e -8°C , respectivamente. A variação sazonal média da temperatura apresenta um ciclo sazonal com as temperaturas mais altas no verão, máximo de $-27,1^{\circ}\text{C}$ no mês de dezembro, e temperaturas mais baixas no inverno, $-59,7^{\circ}\text{C}$ em julho. A análise de distribuição de frequência mostrou que os valores de temperatura média entre $-50,9^{\circ}\text{C}$ e $-66,4^{\circ}\text{C}$ representam 42%, os de temperatura mínima diária entre $-52,4^{\circ}\text{C}$ e $-70,7^{\circ}\text{C}$ representaram 48% e os de temperatura máxima diária entre $-47,1^{\circ}\text{C}$ e $-61,7^{\circ}\text{C}$ representam 40% dos dados observados. A distribuição de frequência da velocidade do vento, durante o período todo, mostra que a intensidade predominante está entre 3,6m/s e 5,7m/s, representando 41,8% dos valores. As maiores frequências de direções do vento encontram-se predominantemente no primeiro quadrante, com 53% de Nordeste, 15% de Leste e 14% de Norte. Ocorre pouca variabilidade na umidade relativa do ar mensal com médias de 74,2% em dezembro e mínima de 62,6% em julho. Com 60% do total dos dados no intervalo de 63% a 79,1% de umidade relativa. A evolução média anual da pressão atmosférica apresentou máximas em janeiro e mínimas em setembro com 687,3hPa e 672,7hPa, respectivamente. Com pouca variabilidade anual com apenas 14,6hPa. Do total de dado para todo o período 50% foi encontrado no intervalo de 677,62hPa e 689,7hPa. A maior e menor pressão foi respectivamente 641hPa em 25 de julho de 1985 e 718,12hPa dia 25 de agosto de 1996, e ambos foram observados apenas uma vez.

Palavras-chave: Meteorologia, Climatologia, Antártica.

ABSTRACT

Antarctica is one of the most sensitive regions to climate variations in global, and atmospheric, biological, cryospheric, geological and oceanic processes occurring in that region directly affect Brazil. The Antarctic region, due to the presence of 90% of the volume of the ice mass in the world, is the major source of energy on earth, and has an essential role in atmospheric and ocean circulation and hence the climate terrestrial system. The objective of this study is to investigate the weather from the South Pole, its average behavior and seasonal variability using thirty-seven years of hourly data of air temperature, wind direction speed, relative humidity and atmospheric pressure obtained from the South Pole Observatory (SPO) between 1977 and 2014. The average climatological is calculated from the monthly average of hourly data. The frequency was calculated for each class interval using Sturges rule. To determine the direction of the average wind speed was used Mitsuta methodology, where the wind speed is decomposed into its components and zonal and meridional direction is the average calculated from the average of the components. The lowest and highest temperature value of air observed in the study period were $-82,5^{\circ}\text{C}$ and -8°C respectively. The average seasonal temperature variation has a seasonal cycle with the highest summer temperatures, maximum $-27,1^{\circ}\text{C}$ in December, and lower temperatures in winter, $-59,7^{\circ}\text{C}$ in July. The frequency distribution analysis showed that the mean temperature values between $-50,9^{\circ}\text{C}$ and $-66,4^{\circ}\text{C}$ represent 42% of the daily minimum temperature between $-52,4^{\circ}\text{C}$ $-70,7^{\circ}\text{C}$ and accounted for 48% and the maximum temperature daily between $-47,1^{\circ}\text{C}$ and $-61,7^{\circ}\text{C}$ represent 40% of the observed data. Wind speed frequency distribution, throughout the period, shows that the predominant intensity is between 3.6m/s and 5.7m/s, representing 41.8% of values. The largest wind directions frequencies are predominantly in the first quarter, with 53% of the Northeast, 15% of East and 14% of North. There is little variability in the relative humidity of the air with monthly averages of 74.2% in December and a low of 62.6% in July, with 60% of all data in the range of 63% to 79.1% relative humidity. The average annual evolution of atmospheric pressure was maximum in January and minimum in September with 687,3hPa and 672,7hPa respectively, with little annual variability with only 14,6hPa. The total data for the whole period 50% was found in the range of 677,62hPa and 689,7hPa. The highest and lowest pressure was 641hPa respectively on July 25, 1985 and 718,12hPa 25 August 1996, and both were observed only once.

Keyword: Meteorology, Climatology, Antarctic

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE A ÁREA DO CONTINENTE ANTÁRTICO E O BRASIL
- FIGURA 2 – CADEIAS DE MONTANHAS NA ANTÁRTICA
- FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DO SOUTH POLE OBSERVATORY (SPO)
- FIGURA 4 – VARIAÇÃO SAZONAL DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS PARA O PERÍODO DE 1977 A 2014
- FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA TEMPERATURA MÍNIMA PARA TODO O PERÍODO
- FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA RELATIVA DA TEMPERATURA MÉDIA DO AR PARA TODO O PERÍODO
- FIGURA 7 – FREQUÊNCIA RELATIVA PARA A TEMPERATURA MÁXIMA DE TODO O PERÍODO
- FIGURA 8 – VARIAÇÃO ANUAL DA TEMPERATURA MÉDIA PARA OS ANOS DE 1977 ATÉ 2014
- FIGURA 9 – ROSA DOS VENTOS PARA A DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO DE TODO O PERÍODO DE 1977 A 2014
- FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA INTENSIDADE DO VENTO PARA TODO O PERÍODO DE 1977 A 2014
- FIGURA 11 – ROSA DOS VENTOS DA VARIAÇÃO SAZONAL DA VELOCIDADE E DIREÇÃO VENTO MÉDIA PARA O PERÍODO DE 1977 A 2014.
- FIGURA 12 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA SAZONAL DA INTENSIDADE DO VENTO PARA O PERÍODO DE 1977 ATÉ 2014
- FIGURA 13 – VARIAÇÃO ANUAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR PARA TODO O PERÍODO
- FIGURA 14 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA UMIDADE RELATIVA DO AR DE 1977 A 2014
- FIGURA 15 – VARIAÇÃO ANUAL DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA PARA TODO O PERÍODO.
- FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA NO POLO SUL DE 1977 A 2014

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 – VALORES DAS MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS, MÉDIAS E MÁXIMAS POR ESTAÇÕES DO ANO E PARA TODO O PERÍODO
- TABELA 2 – VALORES DAS MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR POR ESTAÇÕES DO ANO, PARA TODO O PERÍODO
- TABELA 3 – MÉDIA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA (hPa) POR ESTAÇÕES DO ANO PARA TODO O PERÍODO

LISTA DE SIGLAS

ARO	–	<i>Atmospheric Research Observatory</i>
ENOS	–	El Niño-Oscilação Sul
NOAA	–	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OMM	–	Organização Mundial de Meteorologia.
SPO	–	South Pole Observatory
N	–	Norte
NE	–	Nordeste
L	–	Leste
SE	–	Sudeste
S	–	Sul
SO	–	Sudoeste
O	–	Oeste
NO	–	Nordeste

LISTA DE SÍMBOLOS

$arctg$	–	Arco da tangente
$\sin \theta_i$	–	Seno do angulo
$\cos \theta_i$	–	Cosseno do ângulo
Σ	–	Somatória de números
$flow$	–	Correção dos dados
K	–	Número de intervalos de classe
v	–	Velocidade do vento
\bar{v}	–	Componente meridional
\bar{u}	–	Componente zonal
n	–	Número total de elementos do conjunto de dados
$x_{imáx}$	–	Maior valor do conjunto de dados
$x_{imín}$	–	Menos valor do conjunto de dados
h	–	Amplitude do intervalo de classe
$\bar{\theta}$	–	Direção média do vento
i	–	Quantidade de horas
θ_i	–	Direção do veto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CARACTERÍSTICAS DA ANTÁRTICA	16
2	OBJTIVOS.....	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	20
3	JUSTIFICATIVA	21
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
5.1	ÁREA DE ESTUDO	24
5.2	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	25
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6.1	TEMPERATURA DO AR	27
6.2	VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO	31
6.3	UMIDADE RELATIVA DO AR.....	34
6.4	PRESSÃO ATMOSFÉRICA.....	36
7	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE 1 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA TEMPERTURA DO AR PARA TODO O PERÍODO DE 1977 A 2014.....	45
	APÊNDICE 2 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA PARA TODO O PERÍODO DE 1977 A 2014.....	45
	APÊNDICE 3 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR PARA TODO O PERÍODO DE 1977 A 2014.	46
	APÊNDICE 4 – VARIAÇÃO ANUAL DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA (hPa	46
	APÊNDICE 5 – VARIAÇÃO ANUAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	47

1. INTRODUÇÃO

Nossa atmosfera é o meio vital para a existência de vida na superfície do planeta e o homem sempre se interessou pelas suas características e perturbações. Ele compreendeu rapidamente a importância do estudo do clima e seus componentes, pois estes sofrem transformações ao longo do tempo, tanto por processos naturais como antropogênicos (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Uma vez que muitas das atividades humanas dependem do clima, como por exemplo, agricultura, transporte, turismo, o seu conhecimento numa determinada região pode evitar grandes prejuízos econômicos, consequência de um planejamento mais eficaz (KRUSCHE, 2002).

Julius Hans¹, no final do século XIX, enquadra o conceito de clima como “o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam a condição média da atmosfera sobre cada lugar da Terra.” (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007). Assim, o clima seria um conjunto ou a integração de atributos das condições do tempo de um período, em uma determinada área (VIANELLO, 2000).

Entretanto nossa atmosfera é surpreendentemente complexa e desafia as definições mais simples. Segundo Cavalcanti et al., (2009) o que sentimos no dia-a-dia, ou seja, as chuvas, o calor, o frio, estão associados à passagem de frente frias e quente, ciclones e anticiclones, ondas atmosféricas, tempestades das mais variadas e entre outros fenômenos, são o que determinam o tempo.

O clima global é o resultado da interação entre as componentes do sistema climático da Terra - atmosfera, criosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera - impulsionadas pela radiação solar. (MOREL, 1991). Como é extremamente dinâmico, o clima sofre flutuações e variações ao longo do tempo cronológico e é influenciado pelo o que ocorre nas altas latitudes sob as condições atmosféricas e oceânicas. (BJERKNES, 1964; JUSTINO & PELTIER, 2008). Portanto seus limites ou fronteiras também variam. Sendo assim uma boa classificação climática deve estar embasada em longas séries estatísticas de dados meteorológicos (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

¹

Hann, J.V. Handbuch der klimatologie. Stuttgart, J. Engelhorn, 1. 1897.

O comportamento médio de elementos como, precipitação, direção e velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica, podem caracterizar o clima, onde as médias estatísticas destas variáveis devem ser estabelecidas a partir de uma série de dados de um período mínimo de 30 anos, como estipulado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

1.1. CARACTERÍSTICAS DA ANTÁRTICA

Há diferenças entre o Polo Sul e o Polo Norte. Um aspecto importante é o fato de a Antártica ser realmente um continente, enquanto o Ártico é uma calota do mar congelado. Além disto, o Ártico é menos frio, têm a presença de mais aves migrantes, mais espécies de plantas e uma população humana permanente. As diferenças geográficas são muito importantes para se avaliar os diferentes comportamentos climatológicos e oceanográficos entre os dois hemisférios da Terra. Devemos dar ênfase a estas características geográficas para o estudo da região (SHAHLER & STAHLER, 1996).

O clima atual e as tendências climatológicas nas regiões polares são considerados difíceis de serem avaliadas. Os dados meteorológicos destas áreas, principalmente na Antártica, são espacialmente dispersos e de curta duração, em relação a outros locais da Terra, dificultando a separação das variações locais, regionais e até continentais (BROMWICH et al., 2007).

Com um tamanho de 1,6 vezes maior do que o Brasil (FIGURA 1), o continente Antártico está situado abaixo dos 60° Sul, com uma área de aproximadamente 13.209.000 km² inteiramente coberta de gelo e com cadeias de montanhas superiores a 5000m de altitude (FIGURA 2). A Antártica é cercada pelo mar de Weddell a noroeste e o mar de Ross ao sul e pelo oceano Antártico formado a partir da confluência dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico (ARNHOLDT et al., 1975). Segundo Machado & Brito (2006), o Oceano Antártico denominado também Oceano Austral, corresponde à cerca de 10% destes três oceanos.

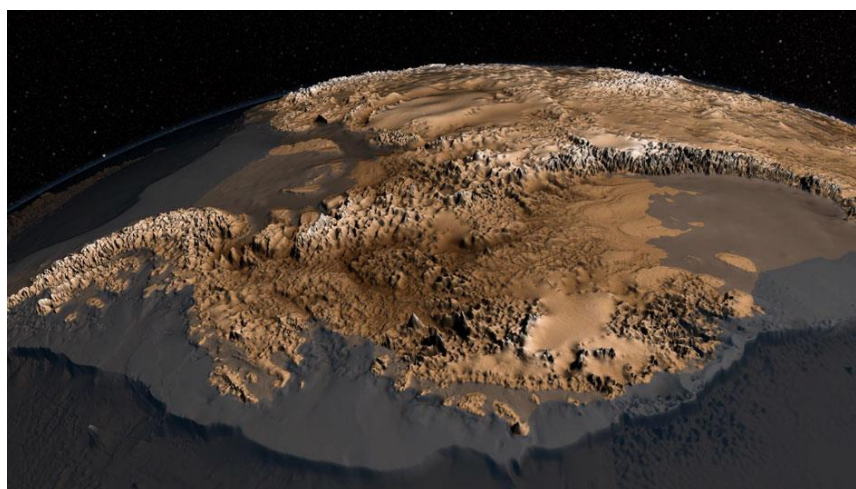
FIGURA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE A ÁREA DO CONTINENTE ANTÁRTICO E O BRASIL



FONTE: Coleção Explorando o Ensino – ANTÁRTICA, volume 9, 2006.

Devido ao manto de gelo continental e seu gelo marinho circundante, contendo 90% do volume da massa de gelo do planeta, a Antártica é o principal sorvedouro de energia da Terra, afetando o clima global (JUSTINO et al., 2011). Uma vez que, controla a circulação atmosférica e oceânica devido às mudanças sazonais consideráveis, e a influencia da concentração de gelo marinho também interfere e define o nível médio dos mares e gera uma das maiores águas de fundo dos oceanos, a Corrente Circumpolar Antártica (BLANK et al., 2011).

FIGURA 2 – CADEIAS DE MONTANHAS NA ANTÁRTICA



FONTE: Dell'Amore (2013).²

² <http://horizontenews.blogspot.com.br/2013/06/montanhas-da-antartida-reveladas-por.html>

A Antártica, considerada a mais fria dentre os continentes, tem uma temperatura maior no litoral com uma média de -6°C a -29°C nas épocas mais frias e no interior do continente encontra-se uma média de -68°C . Nos verões podem variar de 0° a -40° à medida que vai se distanciando do litoral (SETZER, 2006).

O Frio na Antártica é consequência da sua posição na Terra, já que os polos recebem pouca radiação, o que faz com que a Antártica seja dividida em longos invernos de completa escuridão e verões claros. A absorção de radiação nos meses claros não é suficiente para o aquecimento do continente, sendo que, 85% da luz refletem devido à cobertura de gelo e pouco calor é absorvido. E ocorrem outros fatores como o isolamento pelas massas d'água e as grandes altitudes da Antártica (BRITO & MACHADO, 2006).

Como uma região de produção de água mais fria e mais densa que participa na circulação oceânica global, o oceano Antártico é importante para o sistema Climático Terrestre, uma vez que é um dos principais meios pelo qual ocorrem as trocas de energia, calor e massa entre os oceanos Atlântico, Pacífico e Índico (PEREIRA et al., 2004; VIANA et al. 2013).

Segundo Brito & Machado (2006), a Antártica é considerada o termômetro da saúde da Terra, uma região do planeta mais sensível há mudanças ambientais e globais, por diversas causas, como a superfície e as camadas intermediárias do Oceano Austral, que estão se aquecendo mais rapidamente do que o resto dos oceanos e já há indícios da transferência desses sinais para as células profundas da circulação oceânica global. Além disto, o norte da Península, a parte mais amena do continente, registra os maiores aumentos de temperatura média superficial do planeta, apresentando um balanço de massa global negativo e contribuindo para o aumento do nível médio do mar (TURNER et al., 2005).

Conexões climáticas entre os trópicos e as altas latitudes promovem mudanças na variabilidade climática na região antártica, assim como a região polar pode influenciar o Hemisfério Sul, contribuindo uma alta variabilidade climática na América do Sul (JUSTINO et al., 2011).

O clima no Hemisfério Sul é essencialmente gerado e controlado por massas de ar frio provenientes do continente gelado. (BRITO & MACHADO, 2006). Os sistemas anticiclônicos que se originam nos polos propagam-se para baixas latitudes. (KRUSCHE, 2002). Essa ligação, trópicos e altas latitudes, estão vinculadas a gênese e dinâmica das massas de ar frias geradas sobre o Oceano

Austral e que, na escala sinótica, avançam sobre a América do Sul subtropical produzindo eventos de baixa temperatura e geadas nos estados do sul do Brasil (as friagens ou frentes frias que podem chegar até o sul da Amazônia) (JUSTINO et al., 2011).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo investigar a climatologia do Polo Sul, seu comportamento médio e a variabilidade sazonal. Para isto dados de temperatura do ar, pressão, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento do *South Pole Observatory* (SPO) serão utilizados.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Caracterizar o ciclo sazonal da temperatura do ar, pressão, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento no período de 1977 a 2014.

.

3. JUSTIFICATIVA

A Antártica tem um elevado potencial de riquezas minerais ainda não exploradas. Estudos da variabilidade atmosférica, que sofrem ação e têm influência na superfície do mar, são fundamentais para qualquer tipo de estudo de impacto ambiental e manejo na região. Como os processos climáticos que ocorrem na Antártica afetam diretamente o Brasil, um melhor conhecimento da atmosfera deste continente e suas interações com o Continente Americano são essenciais para o entendimento do clima e tempo do Brasil.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Ano Geofísico Internacional (1957-1958) é normalmente tomado como um marco de inflexão na geopolítica antártica, possível e estimulado pelo avanço científico e tecnológico do pós-guerra (décadas de 1950-1960) (BARRY & CHORLEY, 2010).

Nos últimos anos muitos estudos examinaram as variações climáticas em toda a Antártica usando dados de estações meteorológicas.

Muitos autores encontraram um aquecimento significativo. Raper et al. (1984) estudaram a temperatura média anual do continente Antártico com dados de estações e concluíram que ocorreu aquecimento de $0,29^{\circ}\text{C}$ por década para o período entre 1957-1982, resultado que foi significativo em nível de 5%.

Usando dados a partir de 1956 até a década de 1980, Jacka & Budd (1990) sugeriram que ocorreu aquecimento em torno de $0,28^{\circ}\text{C}$ por década. Os autores atualizaram seu trabalho (JACKA & BUDD, 1998) para o período até 1996 e encontraram aquecimento de $0,12^{\circ}\text{C}$ por década.

Analisando a tendência da temperatura em superfície na Antártica, onde foram considerados os registros de temperatura de 16 estações de 1957-1994, Jones (1995) encontrou um aumento de $0,57^{\circ}\text{C}$ ao longo deste período.

Comiso (2000) dividiu o seu estudo em duas partes, a primeira parte abrange um período de 45 anos entre 1954-1998, e utilizando 21 estações, a tendência média é de $0,012^{\circ}\text{C}$ por ano, com 17 estações com tendências de aquecimento e apenas 4 com tendências de resfriamento. A segunda parte, utilizando um período de 20 anos (1979-1998) a tendência média foi de $-0,008^{\circ}\text{C}$ por ano, com 9 estações com tendências de aquecimento e 12 estações com tendências de resfriamento. Apesar do aparente aumento de temperaturas globais durante os últimos 20 anos, a região do continente da Antártica em geral mostra resfriamento durante o período

A relação entre ENOS (El Niño-Oscilação Sul) e Antártica e foram estudadas por Turner et al. (2004) e analisaram anomalias de altura geopotencial em 500 hPa durante o inverno no HS. Os autores constataram que em anos de El Niño (La Niña) anomalias positivas (negativas) de geopotencial são verificadas no Pacífico Sul, próximo ao continente Antártico, causando aumento (diminuição) da temperatura média da camada sobre esta região (TURNER ET AL., 2004). E Turner et al. (2005) estudaram a temperatura em superfície para analisar a tendência durante o período

de 1951 a 2000 e constataram que das 19 estações estudadas, 11 tinham tendências de aquecimento e apenas 7 de resfriamento. Os autores encontraram forte aquecimento na Península Antártica e pequeno resfriamento sobre o interior do continente nas últimas décadas.

Lindemann (2012), no período de 1989 a 2009 analisou várias regiões da Antártica e grande porção do continente apresentou um aquecimento significativo para a década de 1999 até 2009, entretanto na Península de Shetland do Sul, na Antártica encontrou uma tendência de resfriamento.

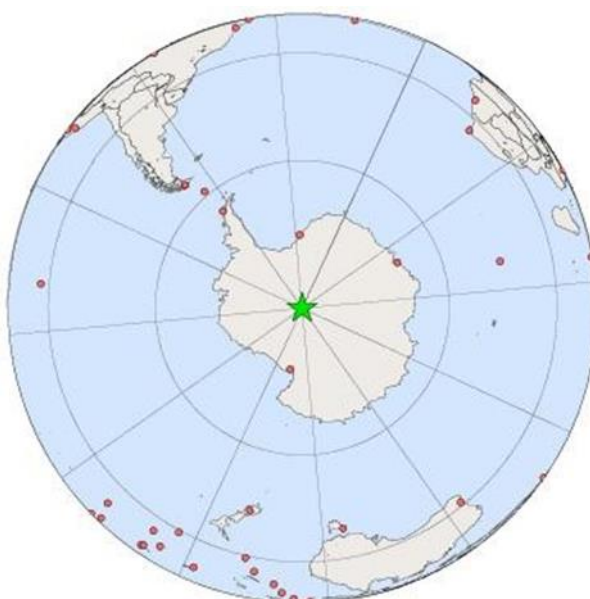
5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. ÁREA DE ESTUDO

O *South Pole Observatory* (SPO) está localizado no Polo Sul, nas coordenadas de 90° Sul (S) e 59° Leste (L), no planalto Antártico a uma altitude de 2.837m.acima do nível do mar. O observatório foi estabelecido no Polo Sul em 1957, Ano Geofísico Internacional. (Informação verbal)³.

A *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) fornece uma infraestrutura para diversas operações científicas, incluindo o Observatório de Pesquisas Atmosféricas (*Atmospheric Research Observatory* - ARO). O observatório fornece dados de meteorologia, aerossóis, ozônio, hidrocarbonos e radiação. (Informação verbal)⁴.

FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DO SOUTH POLE OBSERVATORY (SPO).



FONTE: Site onde foram utilizados os dados⁵

³ Informação consta no site oficial da NOAA/SPO: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/spo/>

⁴ Informação consta no site oficial da NOAA/SPO: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/spo/>

⁵ <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/spo/>

Neste trabalho foram utilizados trinta e sete anos de dados horários de temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar e pressão atmosférica da SPO, para o período de 1977 a 2014. Estes dados estão disponibilizados na página: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/spo/>.

Foram realizadas médias anuais, mensais e sazonais. As estações dos anos verão, outono, inverno e primavera foram divididas respectivamente nos seguintes meses: dezembro, janeiro e fevereiro; março, abril e maio; junho, julho e agosto; setembro, outubro e novembro. Foi realizado também uma distribuição de frequência para todo o período.

5.2. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para as médias climatológicas foi utilizado o método proposto por Sugahara, 1999. Neste, a média mensal para cada mês e para cada ano de forma individual, é estimada fazendo uma média aritmética dos dados diários.

$$\bar{X} = \frac{\sum_k X_K}{n}$$

Segundo Crespo (1997) a frequência das variáveis pode ser calculada pelo o intervalo de classe da regra de Sturges, onde n é o número total de elementos do conjunto de dados.

$$K = 1 + 3,3(\log_{10}n)$$

Para determinar a amplitude dos intervalos de classe (h) foi utilizada a fórmula:

$$h = \frac{[x_{\text{máx}} - (x_{\text{mín}} - 1)]}{K}$$

Onde K é o número de intervalos de classe e $x_{\text{máx}}$ e $x_{\text{mín}}$ são respectivamente o maior e menor valor do conjunto de dados

Para determinar a direção da velocidade do vento médio foi utilizada a metodologia de Mitsuta (EPA, 2000), onde a velocidade de vento é decomposta em

suas componentes zonal e meridional e a direção média é calculada a partir das médias das componentes, como segue:

$$\bar{u} = -\frac{1}{n} \sum u_i \sin \theta_i$$

$$\bar{v} = -\frac{1}{n} \sum u_i \cos \theta_i$$

$$\bar{\theta} = \arctg \frac{\bar{v}}{\bar{u}} + flow$$

$$flow = \begin{cases} + 180 \text{ para } \arctg \left(\frac{\bar{v}}{\bar{u}} \right) < 180 \\ - 180 \text{ para } \arctg (\bar{v}/\bar{u}) > 180 \end{cases}$$

Onde v é a velocidade do vento em m/s, \bar{u} e \bar{v} são as componentes zonal e meridional respectivamente, θ_i a direção do vento e $\bar{\theta}$ direção média do vento, em graus.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

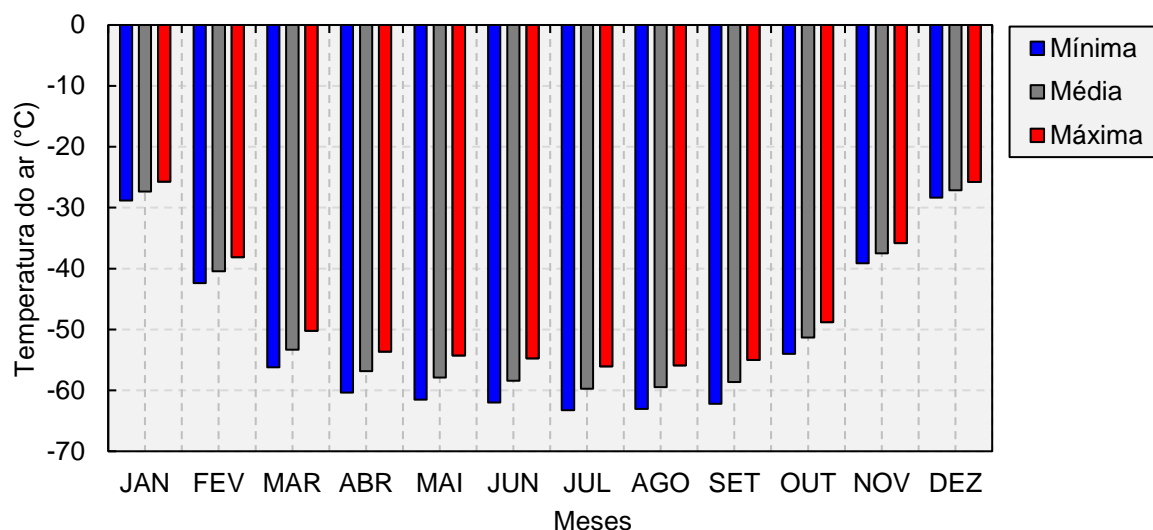
Para uma melhor compreensão, os resultados e discussão deste estudo foram divididos em: temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar e pressão atmosférica, abordando suas variações anuais, sazonais, comportamento médio e a frequência.

6.1. TEMPERATURA DO AR

O menor e o maior valor de temperatura do ar observado no período de estudo foram $-82,5^{\circ}\text{C}$ em 22 de junho de 1982 e -8°C do dia 30 de dezembro de 1984, respectivamente. No dia mais quente o vento se encontrava de 334° , noroeste (NO) com uma intensidade de $2,7\text{m/s}$ já no dia mais frio o vento era de L, 77° com uma maior intensidade $3,6\text{ m/s}$.

A FIGURA 4 mostra a variação anual das médias das temperaturas médias, mínimas e máximas do ar para todo período estudado. Observamos que os valores são sempre negativos com um ciclo sazonal bem marcado, menores no inverno e maiores no verão.

FIGURA 4 – VARIAÇÃO SAZONAL DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS PARA O PERÍODO DE 1977 A 2014.



FONTE: o autor (2016).

. A temperatura mínima mais alta, $-28,3^{\circ}\text{C}$ é encontrada no mês de dezembro, e o mínimo de $-63,3^{\circ}\text{C}$ observado em julho, com variação anual de 35°C . A

temperatura média é maior em dezembro com $-27,1^{\circ}\text{C}$ e menor em julho, $-59,7^{\circ}\text{C}$, com amplitude de 33°C aproximadamente e a temperatura máxima é de $-51,6^{\circ}\text{C}$ em julho e $-25,7^{\circ}\text{C}$ em dezembro, amplitude de 26°C aproximadamente.

A TABELA 1 mostra os valores das médias das temperaturas para cada estação do ano e a média para cada período. A variação sazonal característica é apresentada.

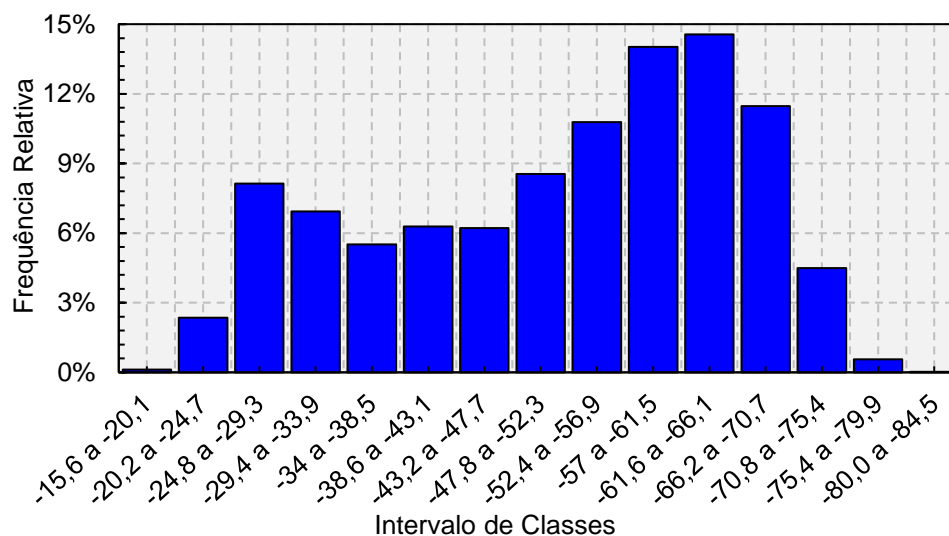
TABELA 1 – VALORES DAS MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS, MÉDIAS E MÁXIMAS POR ESTAÇÕES DO ANO E PARA TODO O PERÍODO.

	Mínima	Média	Máxima
Verão	-33,19	-31,63	-29,88
Outono	-59,38	-56,01	-52,71
Inverno	-62,76	-59,19	-55,58
Primavera	-51,78	-49,15	-46,54
Méd Período	-51,78	-49,00	-46,18

FONTE: O autor (2016).

As distribuições de frequências das temperaturas mínimas, médias e máximas, são mostradas nos FIGURA 5, 6 e 7 respectivamente. As temperaturas mínimas no intervalo de $-52,4^{\circ}\text{C}$ e $-70,7^{\circ}\text{C}$ representaram 48% e os valores entre $-24,8^{\circ}\text{C}$ e $-52,3^{\circ}\text{C}$ estão relativamente bem distribuídos e representam 42% do total de valores. Valores extremos, com temperaturas abaixo de -70°C , representam pouco mais que 5% dos dados.

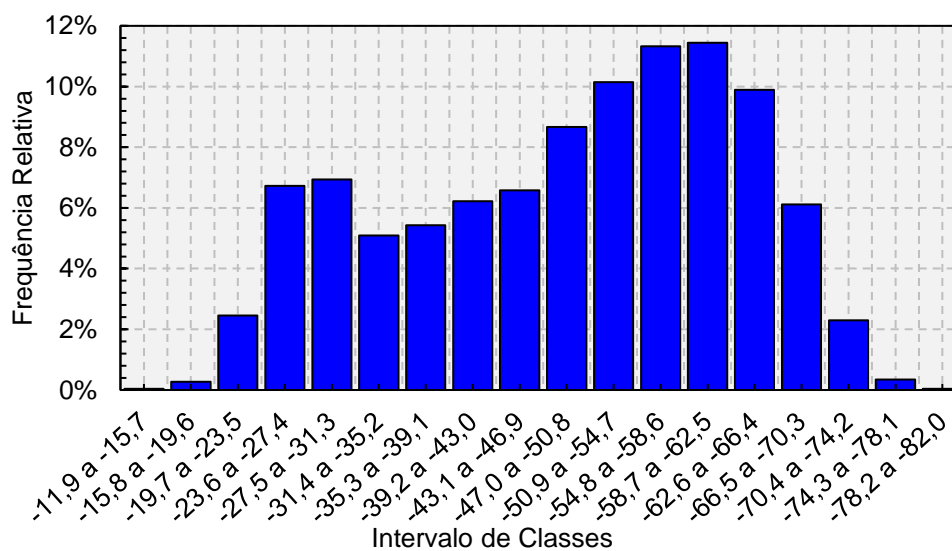
FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA TEMPERATURA MÍNIMA PARA TODO O PERÍODO



FONTE: O autor (2016).

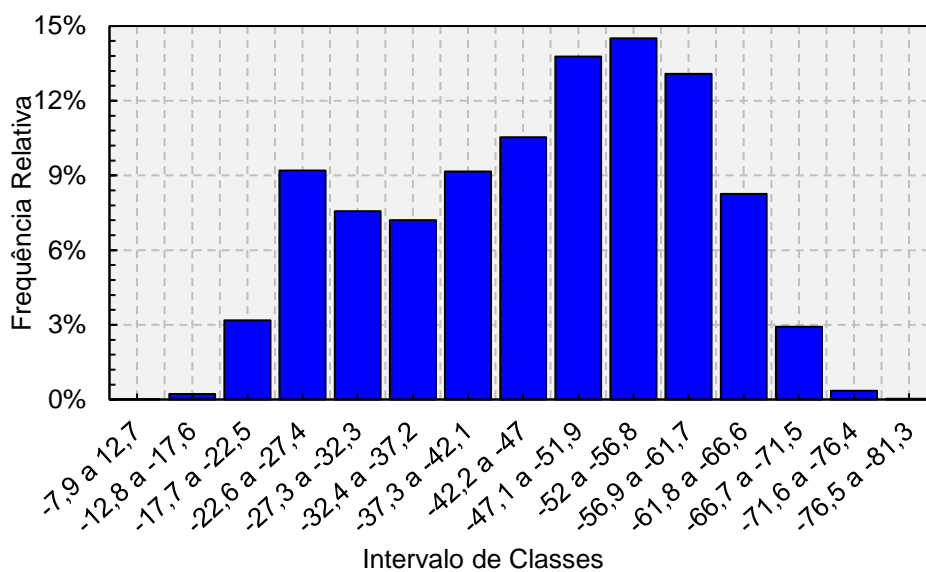
Quando observamos os valores de temperatura média, FIGURA 6 vemos que 42% estão entre $-50,9^{\circ}\text{C}$ e $-66,4^{\circ}\text{C}$, 23% dos valores encontram-se entre $-31,4^{\circ}\text{C}$ e $-46,9^{\circ}\text{C}$ e, aproximadamente, 14% entre $-23,6^{\circ}\text{C}$ e $-31,3^{\circ}\text{C}$.

FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA RELATIVA DA TEMPERATURA MÉDIA DO AR PARA TODO O PERÍODO



FONTE: o autor (2016).

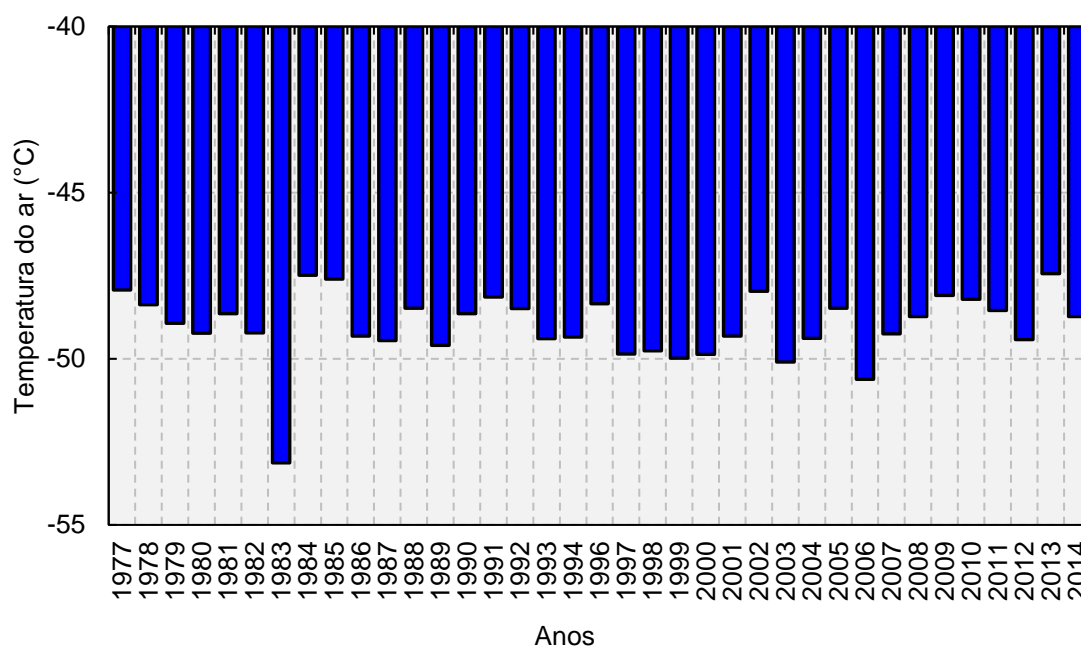
FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A TEMPERATURA MÁXIMA DE TODO O PERÍODO



FONTE: o autor (2016).

A distribuição de frequência da temperatura máxima, FIGURA 7, mostra que os valores entre $-47,1^{\circ}\text{C}$ e $-61,7^{\circ}\text{C}$, e entre $-22,6^{\circ}\text{C}$ e -47°C representam aproximadamente 40% e 43% dos dados observados respectivamente. Valores acima de $-22,5^{\circ}\text{C}$ representam pouco mais de 3,5%.

FIGURA 8 – VARIAÇÃO ANUAL DA TEMPERATURA MÉDIA PARA OS ANOS DE 1977 ATÉ 2014



FONTE: O autor (2016)

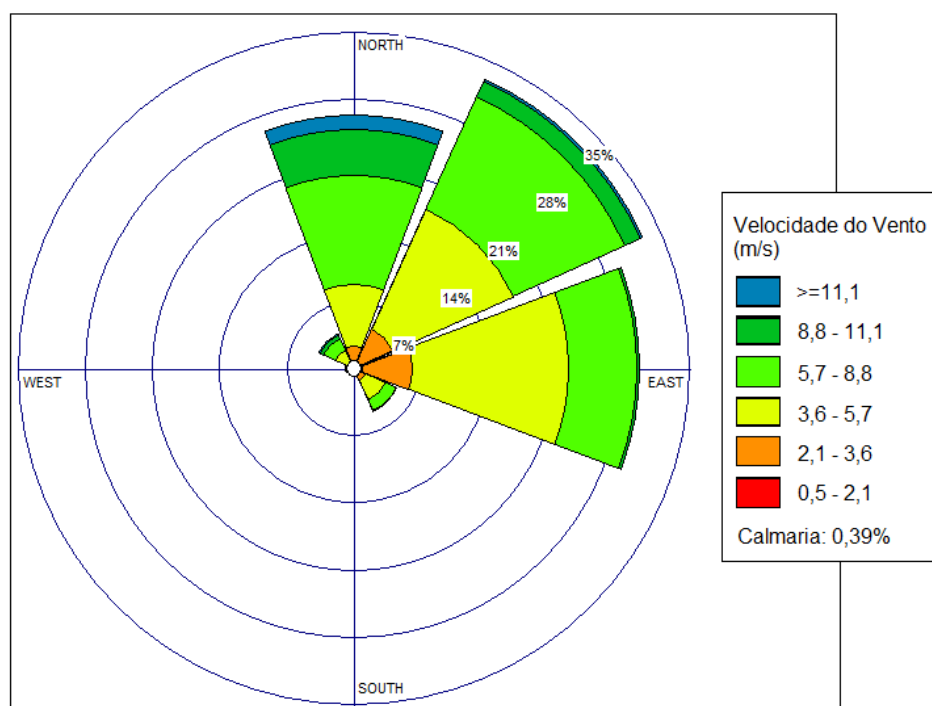
A variação anual da temperatura média do ar para os anos de 1977 até 2014 pode ser observada na FIGURA 8. O ano de 1995 foi excluído por uma falha muito grande na série de dados, sendo assim essa discussão só pode ser feita com as informações disponíveis. Durante o período, para as temperaturas médias 2013 foi o ano mais quente com $-47,4^{\circ}\text{C}$ e o ano mais frio, o de 1983, com temperatura de $-53,1^{\circ}\text{C}$, apresentaram uma variabilidade de $5,7^{\circ}\text{C}$. Numa análise preliminar os dados parecem não apresentar ne um aquecimento e nem resfriamento.

6.2. VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO

Nesta sessão serão apresentados os resultados sazonais e de frequência da velocidade e direção do vento.

A FIGURA 9 mostra a rosa dos ventos da distribuição de frequência para os dados de todo o período de 1977 a 2014. As maiores frequências encontram-se no primeiro quadrante, aproximadamente, 26% Norte (N), 33% de Nordeste (NE), e 30% de Leste (E) representando 89% do total das observações. Observa-se que os ventos mais intensos, acima de 11 m/s, se encontram na componente N.

FIGURA 9 – ROSA DOS VENTOS PARA A DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO DE TODO O PERÍODO DE 1977 A 2014

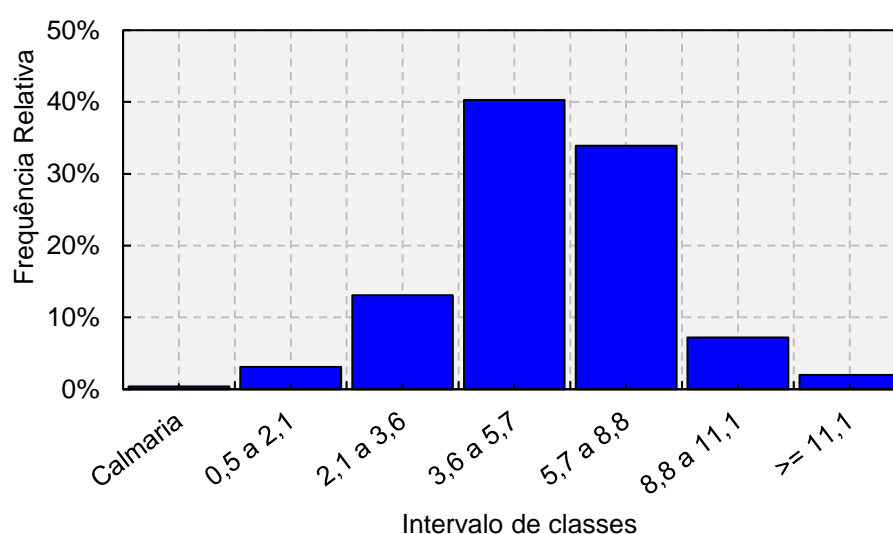


FONTE: o autor (2016).

Segundo Heywood et al., (2004) o centro de baixa pressão que ocorre em 60°S e o centro de alta pressão sobre o continente origina ventos de Leste ao longo da costa.

A FIGURA 10 mostra a distribuição de frequência da intensidade da velocidade do vento, durante o período todo. Observa-se que a intensidade do vento entre 3,6m/s e 8,8m/s representa 74% dos valores observados. Os ventos extremos, acima de 11,1 m/s, representam um pouco mais de 4% do total.

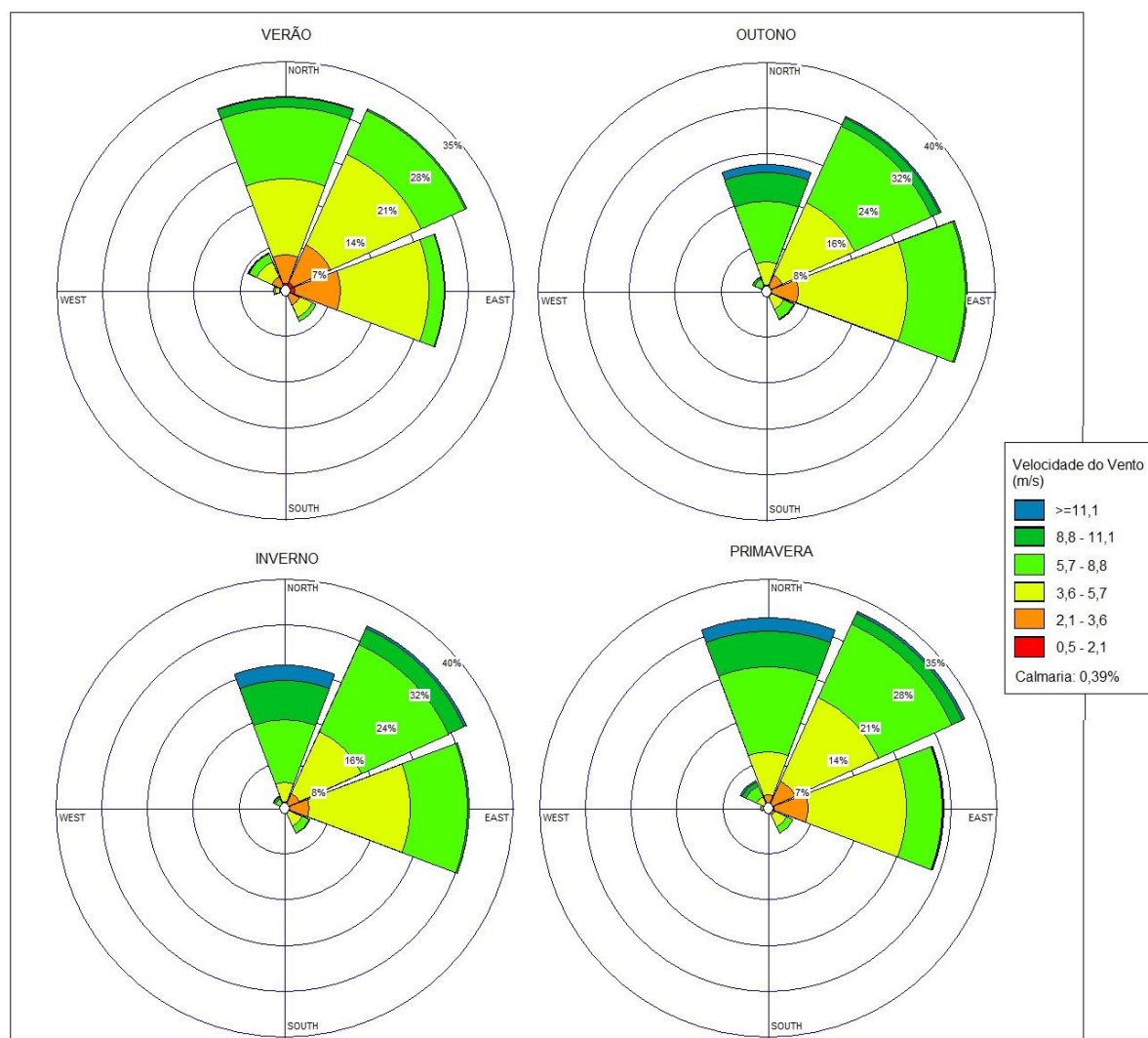
FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA INTENSIDADE DO VENTO PARA TODO O PERÍODO DE 1977 A 2014



FONTE: o autor (2016).

A frequência da velocidade e direção do vento média durante as estações do ano, pode ser observado na FIGURA 11 onde os ventos predominantes ocorrem no primeiro quadrante em todas as estações do ano, mas durante o outono eles estão em maior frequência nas direções NE. Os ventos mais intensos, em todos os casos, mantêm-se nas direções N, exceto no verão que há pouca frequência nessa intensidade. No verão há uma maior predominância em ventos de 2,1-3,6 m/s do que nas outras estações. Não seguindo uma variação sazonal. As calmarias foram determinadas de valores abaixo de 0,5m/s.

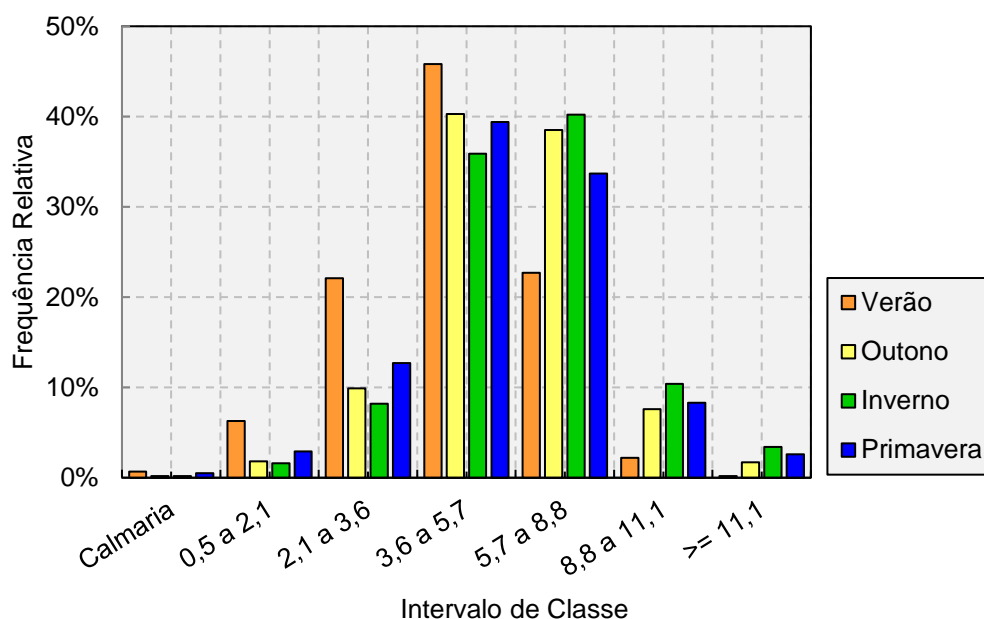
FIGURA 11 – ROSA DOS VENTOS DA VARIAÇÃO SAZONAL DA VELOCIDADE E DIREÇÃO MÉDIA DO VENTO PARA O PERÍODO DE 1977 A 2014.



FONTE: o autor (2016).

A distribuição de frequência da intensidade do vento para as quatro estações do ano é representada na FIGURA 12. Pode-se observar que nas menores intensidades 0,5 a 5,7 há sempre uma predominância no verão e nos ventos mais intensos acima de 5,7 é mais constante nos invernos, com 54% e no verão ocorre menos, com 25,1 do total de dados, das respectivas estações.

FIGURA 12 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA SAZONAL DA INTENSIDADE DO VENTO PARA O PERÍODO DE 1977 ATÉ 2014



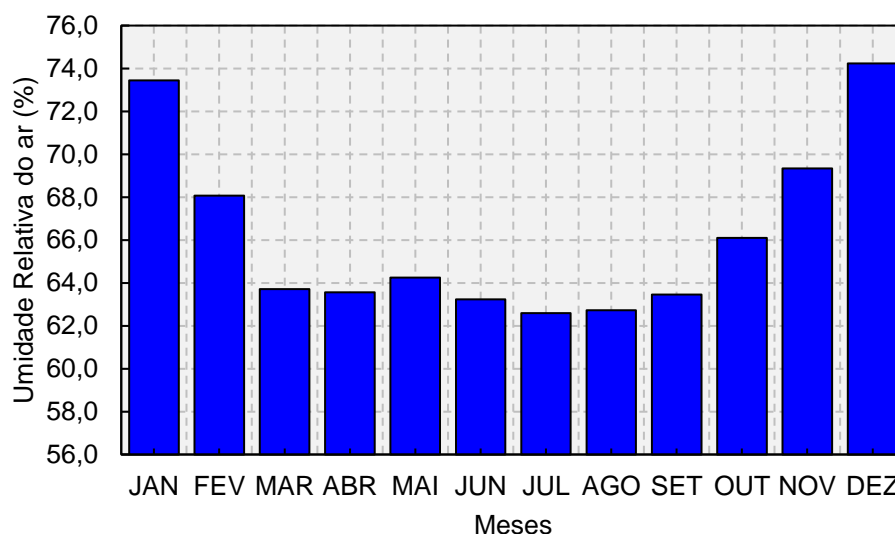
FONTE: O autor (2016).

6.3. UMIDADE RELATIVA DO AR

A umidade relativa do ar para o período 1977 a 2014 foi determinada nesta sessão, através de gráficos que mostram a evolução mensal e a distribuição de frequências da variável.

Na FIGURA 13 pode ser observada a evolução anual da umidade relativa, onde é maior no mês de dezembro com uma média de 74,2% e menor em julho com 62,6%. A amplitude anual é de cerca de 11,6%. Segundo Carpenedo (2009), por causa das altas altitudes e quando as temperaturas estão mais elevadas, isso favorece o acréscimo de umidade, o que ocorre nos meses mais quentes. E existe uma grande variação nas características entre as estações de verão e inverno devido à diferença do aporte de radiação solar ao longo do ano. Entre a superfície e a baixa troposfera observa-se a inversão térmica devido ao máximo resfriamento radiativo no inverno, que também é responsável por uma maior estabilidade troposférica. (KING E TURNER, 1997). Isto explica uma menor amplitude da umidade relativa do ar.

FIGURA 13 – VARIAÇÃO ANUAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR PARA TODO O PERÍODO



FONTE: o autor (2016).

A TABELA 2 mostra a média da umidade relativa do ar por estações do ano para todo o período com invernos e verões bem característicos, sendo uma maior umidade no verão com 71,9% e no inverno 62,9%

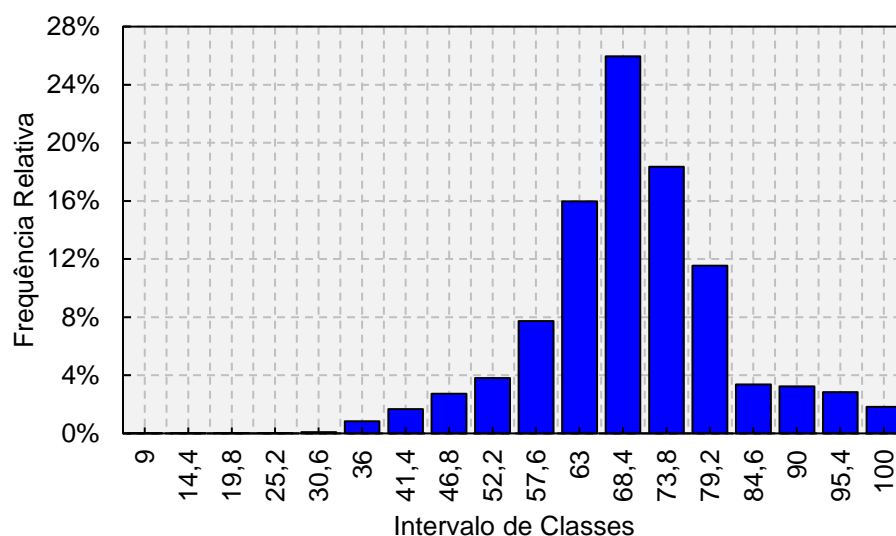
TABELA 2 – VALORES DAS MÉDIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR POR ESTAÇÕES DO ANO, PARA TODO O PERÍODO

	Umidade Relativa do Ar (%)
Verão	71,9
Outono	63,8
Inverno	62,9
Primavera	66,3

FONTE: O autor (2016)

Para todo o período os valores apresentaram um mínimo de 9% e um máximo de 100%. A distribuição de frequência está representada a FIGURA 14 com um intervalo de 5,4. A umidade relativa no intervalo de 63 a 79,1 representa 60% e os valores entre 36 a 52,2 e 84,6 a 100 estão relativamente bem distribuídos e representam respectivamente 9% e 11,2%, do total de valores. Valores abaixo de 30,6 representam pouco menos que 0,13% dos dados.

FIGURA 14 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA UMIDADE RELATIVA DO AR DE 1977 A 2014



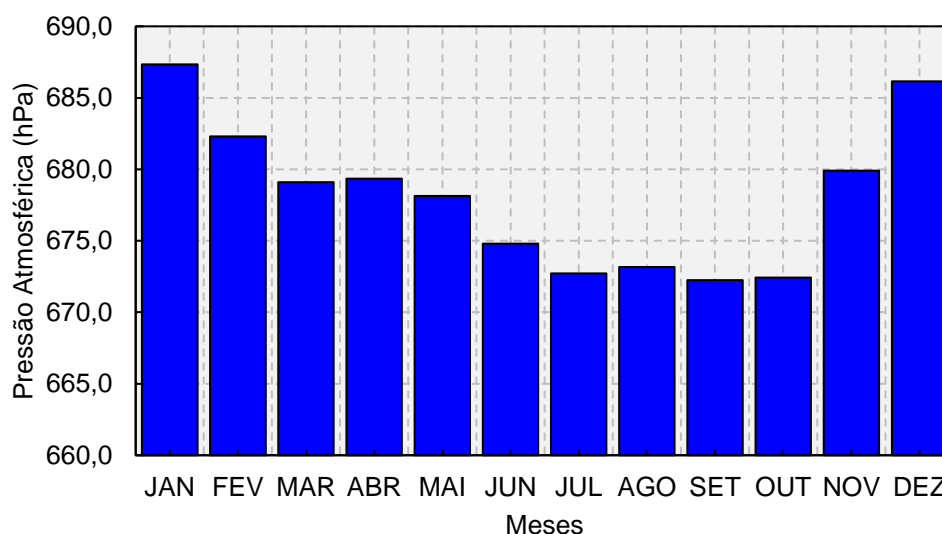
FONTE: o autor (2016).

6.4. PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Na FIGURA 15, observa-se a evolução anual da pressão atmosférica, a partir de médias mensais. O mês que apresentou maior pressão atmosférica foi o de janeiro e a menor foi em setembro, com 687,3hPa e 672,7hPa respectivamente. Também encontramos pouca variabilidade anual com apenas 14,6hPa. Segundo King & Turner (1997) a imensa massa de gelo permanente no interior da Antártica a qual varia entre -30°C e -70°C induz a formação de um centro de alta pressão sobre o continente. Em função da altitude do seu domo de gelo, com aproximadamente 4000m, persistentes ventos transportam o ar do interior do continente em direção à costa.

A média para as estações do ano esta representada na TABELA 3, onde pode ser observado uma pequena variação, com 685,3hPa no verão e 673,6hPa no inverno.

FIGURA 15 – VARIAÇÃO ANUAL DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA PARA TODO O PERÍODO.



FONTE: o autor (2016).

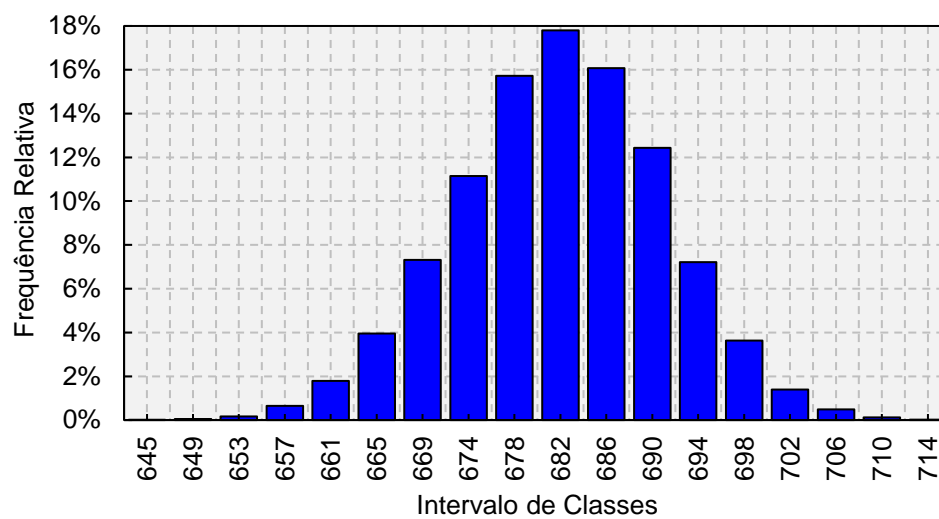
TABELA 3 – MÉDIA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA (hPa) POR ESTAÇÕES DO ANO PARA TODO O PERÍODO

	Pressão Atmosférica (hPa)
Verão	685,3
Outono	678,9
Inverno	673,6
Primavera	674,9

Fonte: O autor (2016)

A distribuição de frequência da pressão atmosférica pode ser observada na FIGURA 16 mostra que aproximadamente 50% do total dos dados está entre o intervalo de 677,62hPa e 689,7hPa. A menor e maior pressão foi respectivamente 641hPa em 25 de julho de 1985 e 718,12hPa dia 25 de agosto de 1996, ambos foram observados apenas uma vez.

FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA NO POLO SUL DE 1977 A 2014



FONTE: o autor (2016).

7. CONCLUSÃO

Neste estudo a variabilidade da temperatura do ar média, mínima e máxima, a velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar e a pressão atmosférica foram investigados em escala sazonal utilizando, para isto, 37 anos de dados da estação meteorológica americana SPO, para o período de 1977 a 2014.

A evolução mensal das temperaturas médias, mínimas e máximas do ar para a região mostra um ciclo sazonal característico, com máximos no verão e mínimos no inverno de acordo com o ciclo solar. Valores máximos de $-28,3^{\circ}\text{C}$, $-27,1^{\circ}\text{C}$ e $-25,7^{\circ}\text{C}$ no mês de dezembro foram encontrados para a temperatura mínima, média e máxima, respectivamente. Os valores mínimos de $-63,3^{\circ}\text{C}$, $-59,7^{\circ}\text{C}$ e $-56,1^{\circ}\text{C}$ para a temperatura mínima, média e máxima, respectivamente, foram encontrados no mês de julho. A variação anual da temperatura média durante o período apresentou um máximo em 2013 e mínimo em 1983, com $-47,4^{\circ}\text{C}$ e $-53,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Os ventos predominantes são encontrados no primeiro quadrante, representando aproximadamente 89% das observações e apresentam pouca variação sazonal. Os ventos mais intensos, acima de 11 m/s, ocorrem preferencialmente na direção Norte e são presentes em todas as estações do ano, com exceção do verão.

A média da umidade relativa do ar mensal é maior em dezembro e menor em julho, com 74,2% e 62,6%, respectivamente. Com uma variabilidade de 11,6%, devido às altas altitudes e a temperaturas mais elevadas, favorecendo o acréscimo de umidade, o que ocorre nos meses mais quentes. E existe uma grande variação nas características entre as estações de verão e inverno devido, à diferença do aporte de radiação solar ao longo do ano. Do total dos dados, 60% estava representado no intervalo de 63% a 79,1%.

Observa-se que evolução média anual da pressão atmosférica apresentou máximas em janeiro e mínimas em setembro com 687,3hPa e 672,7hPa, respectivamente. Com pouca variabilidade anual com apenas 14,6hPa, devido a elevada altitude e a alta cobertura de gelo o que facilita a geração de ciclones de baixa pressão. Do total de dado para todo o período 50% foi encontrado no intervalo de 677,62hPa e 689,7hPa. A maior e menor pressão foi respectivamente 641hPa em

25 de julho de 1985 e 718,12hPa dia 25 de agosto de 1996, e ambos foram observados apenas uma vez.

AGRADECIMENTOS:

Gostaria de agradecer a NOAA pela disponibilidade dos dados que foram utilizados no trabalho.

REFERÊNCIAS

ARNHOLDT, H.; MIRANDA, O. P.; SOARES, P. M. Enciclopédia do Mar. Abril Cult ed. São Paulo - Brasil, v. 1, 1975

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera Tempo e Clima**. 9o ed. Porto Alegre - RS: Bookman, 2010.

BJERKNES, J. **Atlantic air-sea interaction. Advances in geophysics**. New York: Academic Press, 1964. v. 10, 82 p.

BLANK, D. M. P. B.; MARQUES, J. R. Q.; JUSTINO, F. B. Análise dos quantis da temperatura mínima no Rio Grande do Sul e ligações com os setores da Concentração de Gelo Marinho Antártico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26 n.1 , p. 41–52, 2011.

BRITO, T.; MACHADO, M. C. **Antártica**. 1º ed. Brasília, 2006.

BROMWICH, D.H.; FOGT, R.L.; HODGES, K.I.; WALSH, J.E. A tropospheric assessment of the ERA-40, NCEP, and JRA-25 global reanalyses in the polar regions, **Journal of Geophysical Research**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997

CAVALCANTI, I. F. A.; DIAS, M. A. F. S.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, 2009.

CARPENEDO, C. B. **Climatologia das massas de ar formadas sobre o mar de weddell – antártica, entre 1949 e 2008**, 2009.

COMISO, J.C. Variability and trends in Antarctic surface temperatures from in situ and satellite infrared measurements, **Journal of Climate**, v. 13, p. 1674- 1696, 2000.

CRESPO, A. **A. Estatística fácil**. 15ª Ed. Saraiva, São Paulo, SP, 1997.

EPA. Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. EPA Publication No. EPA-454/R-99-005. Office of Air Quality Planning & Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. 2000.

HEYWOOD, K.J.; NAVEIRA-GARABATO, A.C.; STEVENS, D.P.; MUENCH, R.D. On the fate of the Antarctic Slope Front and the origin of the Weddell Front. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, p. 1-13, 2004

JACKA, T.H.; BUDD, W.F. Detection of temperature and sea ice extent changes in the Antarctic and Southern Ocean. In: WELLER, G.; WILSON, C.L.; SEVERIN, B.A. **Proceedings of the International Conference on the Role of the Polar Regions in Global Change**. Fairbanks: University of Alaska, p. 63-70, 1990.

JACKA, T.H.; BUDD, W.F. Detection of temperature and sea-ice-extent changes in the Antarctic and Southern Ocean, 1949-1996. **Annals of Glaciology**, v. 27, p. 553-559, 1998

JONES, P.D. Recent variations in mean temperature and the diurnal temperature range in the Antarctic. **Geophysics Research Letters**, v. 22, p. 1345-1348, 1995.

JUSTINO, F.B.; PELTIER, R. Climate anomalies induced by the Arctic and Antartics Oscillation: Glacial Maximum and presente-day perspectives. **Journal of Climate**, v. 21, n. 3 p. 459-475, 2008

JUSTINO, F.; SETZER, A.; BRACEGIRDLE, T. J.; Harmonic analysis of climatological temperature over Antarctica: present day and greenhouse warming perspectives. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 1, p. 514–530, 2011.

KING, J. C.; TURNER, J. 1997: Antarctic Meteorology and Climatology. 5ed. Cambridge: University Press, 409 p

KRUSCHE, N.; SARAIVA, J M B; REBOITA, M. S.; - Normais climatológicas provisórias de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS /. Rio Grande, 2002.

LINDEMANN, D. DA S. **Variações de temperatura no continente antártico: observações e reanálises**. 120p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

MACHADO, C. M.; BRITO, T; Antártica: ensino fundamental e ensino médio. Brasília: Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica (**Coleção Explorando o Ensino**) v. 9, p.167, 2006.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia - Noções Básicas e Climas do Brasil**. Oficina de ed. São Paulo - Brasil, 2007.

MOREL, P. Word Climate Research Programme, WMO, Geneva, Switzerland. **International Conference on Antarctic Science - Global Concerns; Bremen, Germany, 23-27 September 1991.**, p. 18, 1991.

PEREIRA, J.; WAINER, I.; CAMPOS, E. J. D.; HAARSMA, E. R. J. Variabilidade Climática Do Oceano Austral, Usando um Modelo Acoplado do NCAR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n.2, p. 113–122, 2004.

RAPER, S.C.; WIGLEY, T.M.; JONES, P.D.; SALINGER, M.J. Variations in surface air temperatures: part 3. The Antarctic, 1957-1982. **Monthly Weather Review**, v. 112, p. 1341-1353, 1984

SETZER, A. Variações climáticas regionais. In: BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **O Brasil e o meio Antártico**. (Coleção Explorando o Ensino, 10), Brasília, p. 24-26, 2006.

SHAHLER, A.; STAHLER, A. **Introducing Physical Geography**. 1996.

STEIG, E.J.; SCHNEIDER, D.P.; RUTHERFORD S.D.; MANN, M.E.; COMISO J.C.; SHINDELL, D.T. - Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. **Nature** v.457, p. 459–462, 2009.

SUGAHARA, S.; Normais climatológicas das estações de superfície do Brasil, para o período de 1961 – 1990. São Paulo: **Instituto de Pesquisa Meteorológica /UNESP**, Campus Bauru, 1999.

TURNER, J. The El Niño-Southern Oscillation and Antarctica. **International Journal of Climatology**, v. 24, p. 1-31, 2004.

TURNER, J.; COLWELL, S. R.; MARSHALL, G. J.; et al. ANTARCTIC CLIMATE CHANGE DURING THE LAST 50 YEARS. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 279–294, 2005.

VIANA, A. R.; SECCHI, E. R.; CORREIA, E.; et al. **Ciência antártica para o Brasil - Um plano de ação para o período de 2013 - 2022**. Brasília, 2013.

VIANELLO, R. L. **Meteorologia básicas e aplicações**. / Rubens Leite Vianello, Adil Rainier Alves. – Viçosa: UFV, 2000.

**APÊNDICE 1 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA TEMPERATURA DO AR PARA
TODO O PERÍODO, DE 1977 A 2014.**

Temperatura do Ar (°C)							
	Média	Média Máx.	Média Mín.	Des. Padrão	Variância	E. Padrão	Quant. Dados
JAN	-27,3	-25,7	-28,8	10,6	112,6	0,0187	321074
FEV	-40,4	-38,1	-42,4	11,3	127,7	0,0200	318148
MAR	-53,3	-50,2	-56,2	11,4	130,4	0,0202	320330
ABR	-56,8	-53,6	-60,4	11,9	141,6	0,0212	315196
MAI	-57,9	-54,3	-61,5	11,5	132,5	0,0205	315940
JUN	-58,4	-54,8	-62,0	9,5	90,6	0,0169	316660
JUL	-59,7	-56,1	-63,3	10,6	111,4	0,0187	317404
AGO	-59,4	-55,9	-63,0	12,5	156,8	0,0222	318148
SET	-58,6	-55,0	-62,2	9,1	83,6	0,0164	310177
OUT	-51,3	-48,8	-54,0	11,2	125,0	0,0198	319610
NOV	-37,5	-35,8	-39,1	10,3	106,8	0,0183	320330
DEZ	-27,1	-25,8	-28,3	11,1	123,0	0,0196	321074

FONTE: O autor (2016)

**APÊNDICE 2 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA PARA
TODO O PERÍODO, DE 1977 A 2014.**

Pressão Atmosférica					
	Média	Desvio Padrão	Variância	Erro Padrão	Quantidade
JAN	687,3	5,4	29,4	0,071	5890
FEV	682,3	6,0	36,0	0,082	5387
MAR	679,1	7,3	53,6	0,095	5896
ABR	679,3	8,7	76,5	0,117	5634
MAI	678,1	8,7	75,1	0,113	5933
JUN	674,8	8,7	75,2	0,114	5736
JUL	672,7	9,4	87,4	0,125	5632
AGO	673,2	9,4	88,4	0,131	5137
SET	672,2	8,8	77,9	0,124	5032
OUT	672,4	9,7	93,6	0,134	5208
NOV	679,9	7,0	49,6	0,100	4927
DEZ	686,1	7,3	52,8	0,102	5122

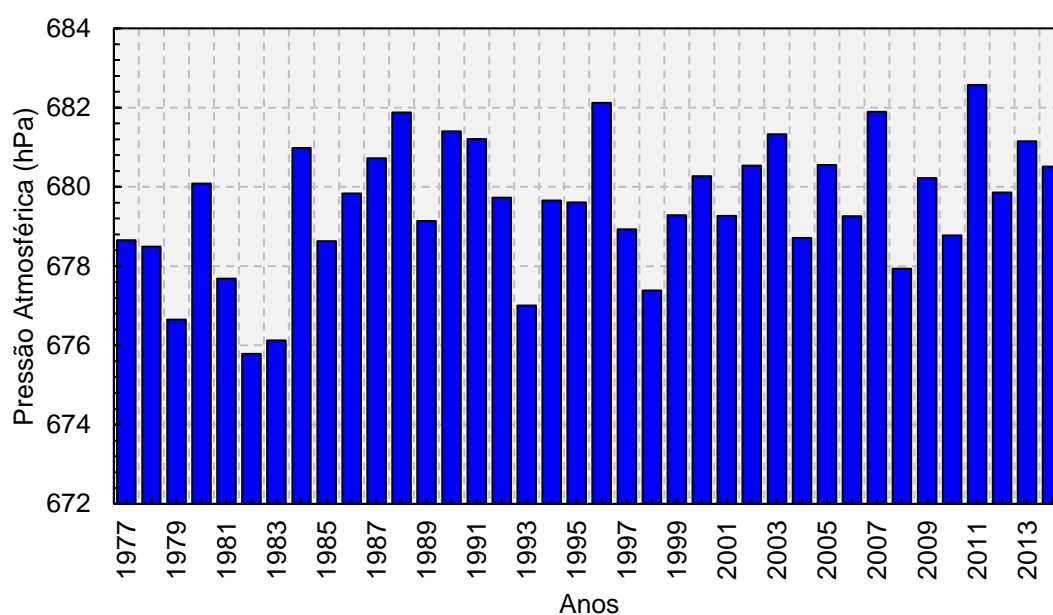
FONTE: O autor (2016)

APÊNDICE 3 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR PARA TODO O PERÍODO, DE 1977 A 2014.

Umidade Relativa do Ar (%)					
	Média	Desvio Padrão	Variância	Erro Padrão	Quantidade
JAN	73,4	12,8	163,6	0,093	19058
FEV	68,1	12,5	157,0	0,095	17232
MAR	63,7	9,5	90,2	0,076	15446
ABR	63,6	10,9	118,3	0,090	14577
MAI	64,2	10,2	103,3	0,085	14401
JUN	63,2	10,2	103,4	0,087	13527
JUL	62,6	9,6	92,9	0,082	13872
AGO	62,7	9,8	96,2	0,081	14565
SET	63,5	10,1	101,2	0,085	13975
OUT	66,1	9,8	96,2	0,079	15381
NOV	69,3	13,0	169,0	0,097	17948
DEZ	74,2	11,8	138,8	0,083	20261

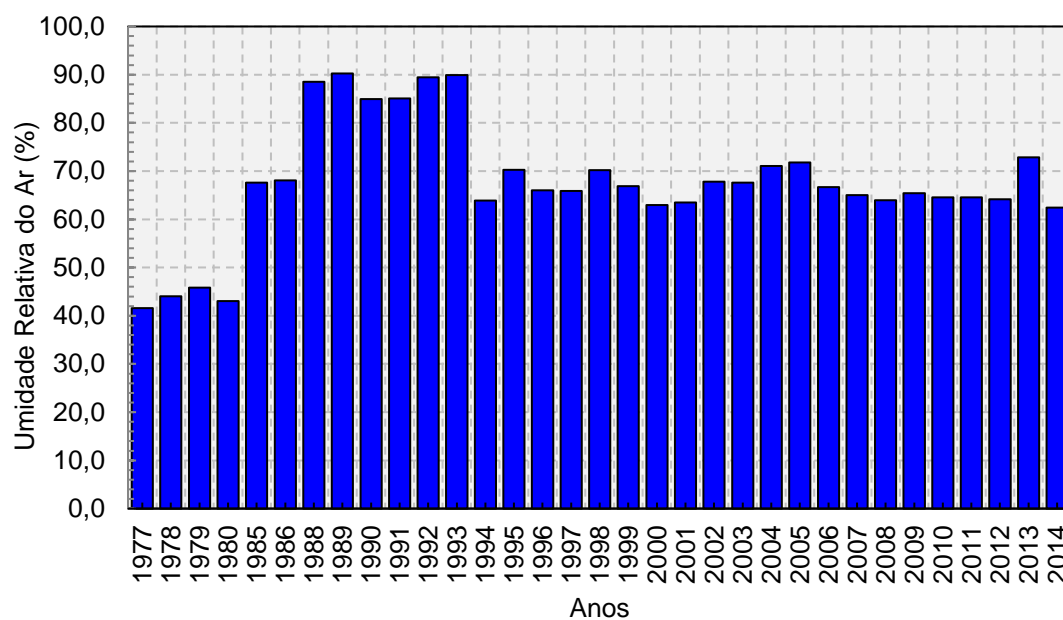
FONTE: O autor (2016)

APÊNDICE 4 – VARIAÇÃO ANUAL DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA (hPa)



FONTE: O autor (2016)

APÊNDICE 5 – VARIAÇÃO ANUAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR (%)



FONTE: O autor (2016)

-48,99	1977 a 1986
-48,97	1987 a 1996
-49,47	1997 a 2006
-48,45	2007 a 2014